

УДК 629.735.083.06

Аль-Аммори Али, к.т.н., докторант (Сирия)

ИНФОРМАЦИОННО-ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ КАК НОВАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Национальный транспортный университет

Запропоновано інформаційно-факторний аналіз процесів польоту як новий перспективний підхід з урахуванням поліфакторності. Розглянуто історичні засади виникнення, розвитку факторного аналізу та теорії інформації, значення інформаційно-факторного аналізу для забезпечення безпеки та ефективності польоту.

Предложено применение информационно-факторного анализа процессов полета в качестве нового перспективного подхода с учетом полифакторности. Рассмотрены исторические основы возникновения, развития факторного анализа и теории информации, значение информационно-факторного анализа для обеспечения безопасности и эффективности полета.

The informatively-factor analysis of processes of flight as new perspective approach is offered taking into account polifactorial. Historical bases of origin are examined; development of factor analysis and information theory, the value of informatively-factor analysis is underlined for providing of safety and efficiency of flight.

Постановка проблемы

Современная теория факторного анализа возникла в начале 30-х годов XX в. и применялась, в основном, в сельском хозяйстве для анализа опытов по селекции растений. Однако применять факторный анализ для решения проблемы эксплуатации сложных производственных процессов начали значительно позднее (в начале 50-60-х годов XX в.). Это связано с тем, что процессы эксплуатации стали рассматриваться с позиции эксплуатационных факторов, появились первые классификации эксплуатационных факторов и попытки их количественной оценки математическим аппаратом факторного анализа [1; 2].

Количество эксплуатационных факторов непрерывно росло из-за постоянного совершенствования техники, в результате чего усложнилось применение классических методов факторного анализа. В связи с этим возникла необходимость в новом подходе к методологическому анализу [1].

Развитие теории информации интенсивно началось в 40–50-х годах XX в. сразу по нескольким направлениям:

- уточнение дефиниции понятия «информация»;
- установление количественных мер информации;
- поиск мер ценности информации.

При анализе процессов эксплуатации информационные подходы стали использовать для оценки степени подготовки эксплуатационного персонала и его информационной нагрузки. При эксплуатации систем связи было выделено

специальное направление – разработка оптимальных кодов и способов кодирования особо важной информации.

При эксплуатации авиационной техники теория информации не вышла за рамки научно-практических разработок и фактически не использовалась в центральных нормативных процедурах:

- стандартизации;
- сертификации;
- лицензировании.

Это вызвано тем, что применяемые количественные меры информации не давали возможности исследовать природу процессов эксплуатации в целом. Обобщающих подходов с момента появления этих теории фактически не было. Исходя из этого рассмотрим процесс образования и развития обобщенного информационно-факторного анализа, созданного на базе двух теорий факторного анализа и информации.

Анализ источников

В литературе дается определение фактора как момента или существенного обстоятельства в каком-нибудь процессе, явлении. Другое толкование фактора (от латинского *factor* – делающий, производящий) – причина, движущая сила какого-либо процесса, явления, определяющая его характер или отдельные его признаки [1–5].

Цель работы – разработка математического информационно-факторного подхода как новой информационной технологии учета полифакторных процессов полета.

Факторный анализ и область его применения

Иногда под факторами понимают гипотетические, непосредственно неизмеряемые, показатели, в той или иной мере связанные с измеряемыми характеристиками в роли внешних проявлений этих факторов [1; 2].

Из табл. 1 видно, что определения понятия «фактор» включают в себя:

- фактор как момент;
- фактор как движущая сила;
- фактор как причина;
- фактор как показатель;
- фактор как параметр;
- фактор как явление;
- фактор как процесс воздействия.

Обширный перечень факторов, влияющих на человека-оператора, был создан в начале 60-х годов А.И. Прохоровым, который охватывал около 1500 факторов, влияющих на человека, работающего со сложными автоматизированными комплексами. Позднее были предложены факторные перечни для анализа человеческого фактора [3].

Согласно факторной процедуре ИКАО выделяют 114 факторов, которые создают множество действующих факторов при всех потенциально возможных происшествиях [4].

Успешное предотвращение летных происшествий требует не останавливаться на ошибках летного состава, а определять факторы, лежащие в основе действий человека.

Согласно процедуре факторной цепи на этом множестве факторов действует любая цепь (группа) из 13 факторов (фирма Боинг увеличила число факторов до 20), существующих на протяжении полета и приводящих к точке неизбежности – пределу способности пилота противодействовать факторным нагрузкам.

В результате анализа разрабатываются уведомления об аварийных факторах, рекомендации по обеспечению безопасности полетов, которые рассылаются соответствующим организациям. Очевидно, что позиция ИКАО недостаточно активна, так как она направлена на сбор и анализ статистики, а не на предотвращение авиационных происшествий.

Кроме того, в руководстве [4] указано, что последующий прогресс авиационной техники будет сопряжен с появлением новых аварийных факторов, а, следовательно, принципиально невозможно ликвидировать факторные нагрузки на пилотов в процессе полета.

Однако основным итогом неверных методологических посылок является то, что в процессах предотвращения авиационных происшествий не учитывается рост по гиперболе количества факторов.

Таким образом, методологическая доработка теории безопасности полетов позволит сначала теоретически, а затем и практически уменьшить долю летного состава в авиационных происшествиях и ошибки, связанные с человеческим фактором, а также совершить переход от теории опасности к теории безопасности полетов.

Истоки факторного анализа, как и других методов многомерной статистики, восходят к трудам английского исследователя Френсиса Гальтона (1822–1911), математика и философа Карла Пирсона (1857–1936), которому принадлежит первая работа, посвященная использованию метода главных компонент (1901) для решения проблемы измерения обобщенных факторов в антропометрии [1; 2].

Работы по факторному анализу были выполнены:

- математиком Г. Хотеллингом, предложившим современную трактовку метода главных компонент;
- математиками-психологами Л. Тэрстоуном и К. Холзингером, создавшими методику многофакторного анализа;
- психологами Р. Кэттелом и Г. Айзенком, использовавшими факторный анализ для разработки психологической теории личности [5].

В теории факторного анализа важное место занимают:

- исследование и анализ факторов и их показателей как функции многих переменных;
- уточнения понятия фактора;
- определение форм связи факторов;
- отбор их на основе оценок значимости;
- формирование принципов составления аналитических факторных моделей.

Основная модель факторного анализа описывается следующим образом:

$$X_i = \sum_{r=1}^k l_{ir} f_r + l_i, \quad X_i = l_{i1} f_1 + l_{ir} f_r + \dots + l_i,$$

где l_{ir} – нагрузка фактора (вес фактора);

f_r – простой фактор;

l_i – отклонение.

Эта модель определяет факторные значения без учета информационного характера взаимодействия производственных и эксплуатационных факторов, поэтому возникла необходимость других способов решения.

Теория информации и ее парадоксы

Понятие информации впервые было введено в статистике Р.А. Фишером в 1925 г. В работе по теории оценок им же была использована мера количества информации [6–11].

Из табл. 2 видно, что определение понятия информации включает в себя:

- информацию как сведение;
- информацию как разъяснение;
- информацию как осведомление;
- информацию как изложение;
- информацию как сообщение;
- информацию как сигнал;
- информацию как новости;
- информацию как носитель;
- информацию как данные;
- информацию как отражение.

В 1928 г. Хартли определил меру информации как логарифм числа возможных последовательностей символов для использования в технике связи [6].

Способы определения количества информации соответствующего вида математического выражения встречались в работах Л. Больцмана (1879), т. е. еще в начале развития теории связи рассматривались задачи, полная постановка которых в последующем послужила ядром формирующейся теории.

В 1933 г. В.А. Котельников сформулировал важнейшую теорему о возможности представления непрерывной функции совокупностью ее значений в отдельных точках отсчета и разработал оптимальные методы приема сигналов на фоне помех в области помехоустойчивости связи [7]. Большой вклад в понимание вероятностной природы шумовых процессов, а также в изучение других случайных процессов, имеющих широкий круг приложений внесли Н. Винер, А.Н. Колмогоров, А.Я. Хинчин [8–10].

На начальном этапе создания теории информации в 50-х годах особый интерес вызвали работы Клода Шеннона «Математическая теория связи» и «Теория связи в секретных системах», положившие начало теории информации и криптографии в ее современном понимании [11].

Клод Шеннон в статье «Надежные схемы из ненадежных реле» не только разработал более эффективную систему числа требуемых элементов при условии надежности всей схемы, но и открыл перспективное направление исследований асимптотической оценки сложности подобных схем.

При создании основ теории информации в работах Клода Шеннона и Н. Винера давались толкования понятия «информация», однако требовались дополнительные усилия А.Я. Хинчина, чтобы количественные характеристики информации – энтропия и количество информации – обрели статус математических понятий.

К середине 50-х годов наиболее общее определение количества информации в вероятностном смысле было дано в работах А.Н. Колмогорова, который в дальнейшем развил так называемую алгоритмическую теорию информации [8], в которой под энтропией понималась сложность объекта, равная сложности алгоритма, описывающего объект.

В последующие годы теория информации получила дальнейшее развитие в трудах ученых А.Н. Колмогорова, А.Я. Хинчина, А.А. Харкевича, Р.Л. Стратоновича, А.М. Яглома, Р.Л. Добродушина, М.С. Пинскера, Г.С. Поспелова, В.И. Железнова, С. Кульбака, А.В. Солодова, Л.М. Финка, В.Макмиллана, А. Файнстера, Д. Габора, Р.М. Фано, Ф.М. Вудворта, С. Гольдмана, Л. Бриллюэна, Л. Заде, А.В. Соколова, В.М. Глушкова, В.С. Михайлевича, Ю.М. Каньгина, В.И. Скурихина, В.И. Гриценко, А.А. Тимченко, П.Р. Левковца, А.А. Родионова, В.А. Игнатова, Е.М. Хохлова.

Основные формулы энтропии в теории информации описаны в трудах Хартли, Фишера, Клода Шеннона, Н. Винера, А.Н. Колмогорова.

Общий вид этих формул представляет собой простые логарифмические меры типа $\log M$, а не меры с логарифмической самонормировкой типа $M \log M$ (обобщенный вид энтропии любого процесса) [12].

Сложности встречающиеся при проведении анализа сложных систем с помощью классической теории информации и статистической теории факторного анализа, связаны с областью ее применения и недостатком этих теорий как обобщенного анализа.

Таблица 1

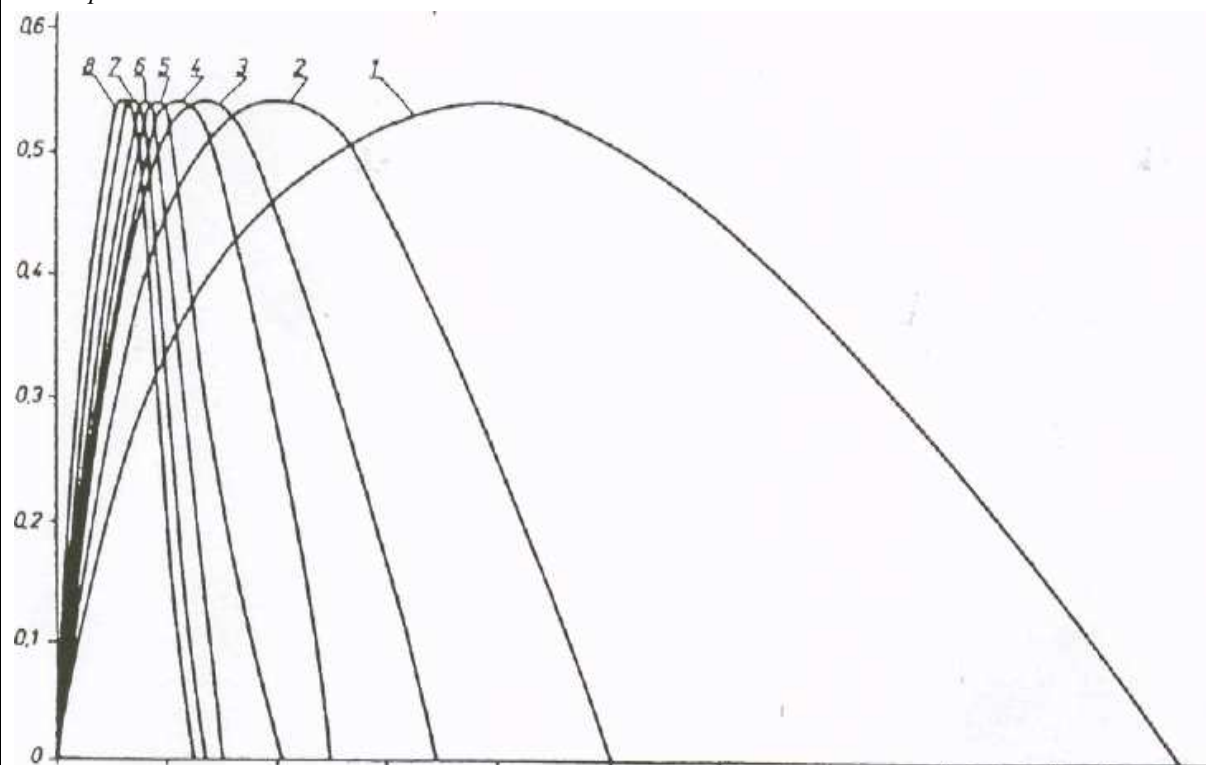
Определение понятия фактора

Источник	Определение
Толковый словарь русского языка / под ред. Д.Н.Ушакова, 1934; 1940	Фактор (лат. factor – делатель, творец чего-нибудь) – движущая сила, причина какого-нибудь процесса, обуславливающая его или определяющая его характер
В. Налимов. Теория эксперимента, 1971	Факторы – переменные, случайные, простые, сложные, коррелированные, дополнительные
Политехнический словарь /под ред. И. Артоболевского, 1982 Большой энциклопедический словарь, 1987	Фактор (от лат. factor – делающий, производящий) – причина, движущая сила какого-либо процесса, явления, определяющая его характер или отдельные его черты
С.И. Ожегов. Словарь русского языка, 1984	Фактор – момент: существенное обстоятельство в каком-нибудь процессе, явлении
Общая теория статистики / под ред. А. Я. Боярского, Г. Л. Громыко, 1985	Факторы – компоненты, воздействующие на признаки, которые могут быть через них выражены
А. Муравьев. Теория экономического анализа, 1988	Фактор – показатель, причина, движущая сила, чего- либо
Словарь экономических терминов, 2000	Факторы – условия, причины, параметры, показатели, оказывающие влияние, воздействие на экономический процесс и результат этого процесса

Таблица 2

Определение понятия информации

Источник	Определение
Толковый словарь русского языка / под ред. Д.Н. Ушаков, 1934; 1940	Информация – сообщение, осведомляющее о положении дел или о чьей-нибудь деятельности, сведения о чем-нибудь
С.И. Ожегов. Толковый словарь русского языка, 1949	Информация – сведения об окружающем мире и протекающих в нем процессах
Политехнический словарь / под ред. И. Артоболевского, 1982	Информация (лат. information – разъяснение, изложение, осведомление) – совокупность каких-либо сведений, данных, передаваемых людьми устно, письменно либо другим способом
Большой энциклопедический словарь, 1987	Информация (лат. informatio – разъяснение, изложение) первоначальная – сведения, передаваемые людьми устным, письменным или другим способом
С.И. Ожегов. Словарь русского языка, 1988	Информация – сведения об окружающем мире и протекающих в нем процессах, воспринимаемые человеком или специальными устройствами
В.И. Першиков, В.М. Савинков. Толковый словарь по информатике, 1991	Информация – совокупность знаний о фактических данных и зависимостях между ними, является одним из видов ресурсов, используемых человеком в трудовой деятельности и быту
Словарь экономических терминов, 2000	Информация – сведения, данные, значения экономических показателей, являющиеся объектами хранения, обработки и передачи и используемые в процессе анализа и выработки экономических решений в управлении

Существующие методы	
Модели факторного анализа	Модели теории информации
Однофакторная модель	
$Z_1 = a_1 F_1 + d_1 U_1$	$H_1 = -p_1 \log p_1$
Двухфакторная модель	
$Z_2 = a_1 F_1 + a_2 F_2 + d_1 U_1 + d_2 U_2$	$H_2 = -(p_1 \log p_1 + p_2 \log p_2)$
Многофакторная модель	
$z_{ji} = \sum_{k=1}^r a_{jk} F_{ki} + d_j U_{ji}$	$H_i = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i$
Метод информационно-факторного анализа	
Однофакторная модель	
$H_{1ифа} = -p_1 \log p_1$	
Двухфакторная модель	
$H_{2ифа} = -(p_1 + p_2) \log (p_1 + p_2)$	
Многофакторная модель (обобщенная модель)	
$H_{i\text{ ифа}} = -\sum_{i=1}^n p_i \log \sum_{i=1}^n p_i$, где p_i – функция отклика факторного анализа	
<p>Номограмма информационно-факторного анализа</p> <p>$n=1,2,\dots,i$ – число аддитивных факторов</p> 	
Образование информационно-факторного анализа и его обобщенной модели	

Недостатки и неопределенности, существующие при анализе функциональных систем, требовали нового метода анализа, который бы компенсировал одновременно недостатки и теории информации, и факторного анализа.

Информационно-факторный анализ как процессный этап обобщения теории информации и факторного анализа

С момента создания теории информации и факторного анализа обобщения велись с позиции существующих математических теорий и носили изолированный характер: обобщения отдельно теории информации и обобщения факторного анализа. Например, факторный анализ был дополнен векторной формой. Позднее обобщения проводили с помощью современной алгебры и ее теории групп.

С позиции процессного подхода, изучая впервые природу факторного и информационного взаимодействия как конечной причины явлений, очень важно было рассмотреть обе теории через логарифмическое нормирование мер, что привело к созданию обобщенного метода – информационно-факторного анализа (см. рисунок).

Информационно-факторный анализ – это логико-математический метод, основанный на процессном анализе и общей теории процессов, учитывающий процессные свойства ресурсов и динамику поведения объектов для достижения эффективных результатов анализа.

В практическом плане информационно-факторный анализ – это такой научный анализ, который использует математическую модель в виде

$$H_{i \text{ ифа}} = - \sum_{i=1}^n p_i \log \sum_{i=1}^n p_i$$

для определения пределов развертывания критических ситуаций, их первых признаков и оценки общего уровня количественно-качественной неопределенности.

Появление информационно-факторного анализа как части процессной аналитики является естественным продолжением работ 60–70-х гг. XX в., которые проводились с помощью энтропии процесса [12].

Выводы

Факторный анализ и теория информации имеют одни источники происхождения, но разные по методам, предметам и выводам анализа. Этим объясняется их объединение в один единый анализ, в котором рассматриваются процессные свойства для получения более эффективных информационно-управляющих процессов.

Литература

1. *Факторный анализ с обобщениями* / пер. с чешск. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 248 с.
2. *Лоули Д.* Факторный анализ как статистический метод / Д. Лоули, А. Максвелл / пер. с англ. – М.: Мир, 1967. – 144 с.
3. *Хохлов Е.М.* Решение задачи учета большого количества взаимодействующих факторов кольцевым анализом при противодействии авиаспециалистов факторным нагрузкам / Е.М. Хохлов // *Эргономические проблемы профессионального отбора подготовки и адаптации на производстве авиационных специалистов*. – К.: КИИГА, 1985. – С. 80–90.
4. *Doc 9422-A/923.* Руководство по предотвращению аварийных происшествий // Международная организация гражданской авиации; ИКАО. – Монреаль, 1984. – 138 с.
5. *Основы инженерной психологии* / под ред. Б.Ф. Ломова. – М.: Высш. шк., 1977. – 335 с.
6. *Куликовский Л. Ф.* Теоретические основы информационных процессов / Л.Ф. Куликовский, В.В. Мотов. – М.: Высш. шк., 1987. – 248 с.
7. *Котельников В.А.* Теория потенциальной помехоустойчивости / В.А. Котельников. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1956. – 152 с.
8. *Колмогоров А. Н.* Три подхода к определению понятия «количество информации» / А.Н. Колмогоров // *Проблемы передачи информации*. – М., 1965. – Т. 1, Вып. 1. – С. 3–11.
9. *Винер Н.* Кибернетика или управление и связь в животном и машине / Н. Винер / пер. с англ.; под ред. Г.Н. Поварова. – М.: Сов. радио, 1958. – 215 с.
10. *Хинчин А.Я.* Работы по математической теории массового обслуживания / А.Я. Хинчин / Под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Физматгиз, 1963. – 235 с.
11. *Шеннон К.* Работы по теории информации и кибернетике / Клод Шеннон / пер. с англ.; под ред. Р.Л. Добрушина, О.Б. Лупанова. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. – 829 с.
12. *А.с. №16117.* Украина Авторский процессный подход (авторский взгляд на первое десятилетие внедрения процессного подхода в глобальном масштабе: 1995–2005гг.) / Е.М. Хохлов, Али Аль-Аммори. – К., 2006. – 174 с.